

中学校における「力」の指導

— 日常経験を反映した「力の概念」を中心に据えて —

駒 村 真*

生徒が実感でとらえている「力」と、学校で学習した「力」とが結びついていないという実態から、日常経験を反映した「力の概念」を中心に据えて従来とは違う指導計画を作成した。また、この指導計画に基づいて「力」を指導する際に有効と考えられる、「光弾性を利用した実験」及び、「自作台車を使った実験」についても提案している。そして、作成した指導計画の一部について実践したところ、生徒はこれまで認識していなかった「抗力」や「力の相互作用性」をはっきりと認識するようになった。

1 はじめに

中学校学習指導要領理科第一分野によれば、「力」の指導の主なねらいは、「力の基礎的な性質やはたらきを理解させ、力の量的な見方を養う。」こととなっている。一方、これを受けた学校での「力」の指導は、子どもたちがすでに持っている「力の概念」を中心に据えることなく、どちらかというと、矢印などを使って抽象的・定量的に考察することを中心に進められているのが実状である。

「力の概念」のように日常経験とのかかわりが深いものについては、具体的経験を通して獲得されたものがひとりひとりの「概念」の基礎になっている。また、すでに持っている「概念」と関連づけられて、そこにまとまりのある解釈がうちたてられることによって理解される。子どもたちは概念を作りあげる活動を日常生活で行なっているわけで、学校では、子どもたちがこれまでに身につけてきた「力の概念」を「整理・統合・発展」させる役割りを果たしていかなければならない。この時留意すべきことの1つは、現在、生活の中で具体的な物や体験を通した「力の概念」が育ちにくなっている点である。具体的な物や体験に裏付けられた「力の概念」が育っていないまま、抽象的・定量的な「力」の学習を進めていくことが、学習が成立しない生徒を作っている原因の一つと考えられるからである。

これらのことをふまえ、この研究では、まず、いくつかの「力の概念」について子どもたちの実態を知ることを通して「力」の指導における問題点をさぐり、「力」の指導の改善策を検討した。次いで、改善策に基づいた「力」の指導計画を作成し、その一部について実践し検討してみた。従来の指導計画とは違いこの指導計画では、日常経験を反映した「力の概念」を中心に、さらに、具体的な体験をさせてこれを補強しながら「力」の指導を進めている。例えば、自作台車を使って力を体験させたり、光弾性を利用して力を目でとらえさせるような活動を取り入れている。

なお、本研究は「(2)力」に関する内容のうち、「ウ 圧力」を除いた部分について行なった。

2 生徒の実態

いくつかの「力の概念」について生徒の実態を調べた。調査は中学生のほか、少数ではあるが小学

* 理科長期研修員（新発田地区理科教育センター・新発田市立猿橋中学校）

生と高校生に対しても行ない、「力の概念」形成過程及び、「力」の学習が概念に及ぼす影響についても知ることができた。調査の結果を図1に示す。

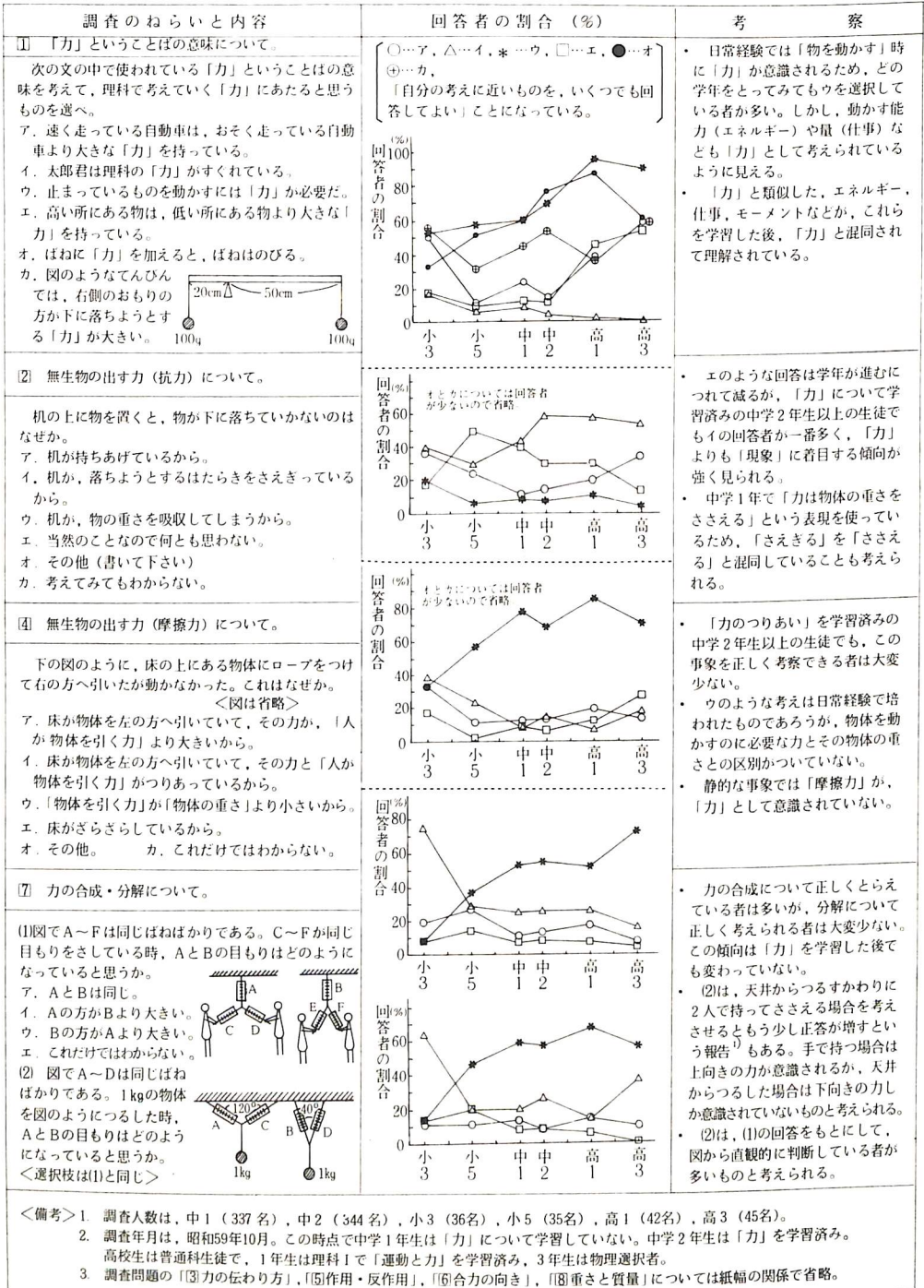


図1 実態調査の結果

調査でとりあげた「力の概念」について、中学生段階での実態に限ってまとめると次のようになる。
 <□>内の数字は、主な根拠となる調査の番号を示している。

- ① 「力の概念」が未だに未分化で、エネルギー、仕事、モーメント、質量（重さ）などの概念と混同されたまま理解されている。 <①・⑧>
- ② 無生物の出す力（抗力、摩擦力）がはっきりと認識されていない。 <②・④>
- ③ 力は一方向的に働くものと考えられており、相互作用性（作用・反作用）は気付かれていない。 <⑤>
- ④ 「力の合成」に比べて、「力の分解」はよく理解されていない。 <⑥・⑦>

3 問題点と改善策

中学生の実態から、「力」の指導における問題点と、それに対応する改善策を検討して表1のようにまとめた。

表1 問題点と改善策

| 前節「生徒の実態」内容番号 | ① (力概念の分化) | ② (抗力・摩擦力) | ③ (力の相互作用性) | ④ (力の合成・分解) |
|------------------|---|--|---|--|
| 「力」の指導における問題点 | 概念のちがいははっきりと指導していない。 「はたらき」や「いきおい」を「力」と言っている場合がある。 | 抗力や摩擦力は日常生活で無視できない力であるにもかかわらず、これらを学習でとりあげなかったり、とりあげても説明だけで終わらせてしまっていることが多い。 | 「力の相互作用性」は、現実には力が働いている場合に成り立っている関係であるにもかかわらず、これを理解させるための具体的な指導をしていない。 | 定量化を急ぐあまり、力に関する諸事象を体験させないままに図や矢印を使って、力の合成・分解を指導している。 |
| 「力」の指導の改善策 | 「力」や「重さ」などの語句に対して生徒の持っている既存概念を出させ、整理・区分し、それぞれの概念の意味とちがいははっきりさせる。 概念をあらわす語句を注意して使う。 | 抗力や摩擦力を現実にはたらいっている「力」として認識させる。 (体験させる。スポンジやボールの変形を利用して発生のおもしろさを理解させる。光弾性を利用して目でとらえさせる。) | スポンジやボールの変形及び、光弾性を利用して、「力は相互作用ではたらいっている」ことを視覚的にとらえさせ、理解させる。 | 実際に物体を動かして、力と物体の重さについて体感させる。 自作台車と秤量の大きなばねばかりを使って、力を体験させながら量的関係の発見へと導く。 |
| 「力の指導計画」中の学習活動番号 | ③ ④ | ⑥⑦⑧⑫ | ⑩ ⑪ ⑫ | ①⑬⑭⑮⑯ |

従来行なわれてきたような「力」の指導に対して、物を使って日常経験と結びつけた力を体験させたり、現実にはたらいっているながら見逃されている力を認識させたりしながら、身近な力学事象の理解に不可欠な「力の概念」を身につけさせ、すでに生徒の持っている「力の概念」を「整理・統合・発展」させていくような指導が必要であると考えます。なお、指導にあたっては、実態調査からわかった「力の概念」形成過程も考慮していく必要がある。

4 「力」の指導計画

改善策をおり込んだ「力」の指導計画を次のように考えた。

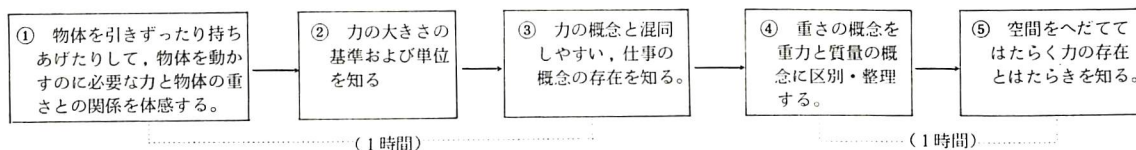
(1) 指導目標

力の基礎的な性質やはたらきを理解させ、力の量的な見方を養う。

(2) 指導計画（紙幅が足りないので第1次と第3次は簡略に記す。）

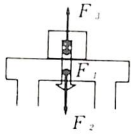

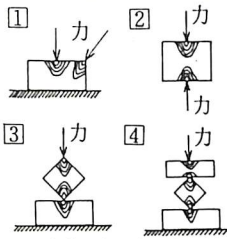
第1次 「重さ」にかかわる「力の概念」の分化をはかる。（2時間）

<学習活動>



第2次 日常経験と結びつけた力の基礎的な性質及び、力の発生・伝達のしくみを理解させる。（4時間）

| ね ら い | 学 習 活 動 | 留 意 点 | 時 数 |
|--|--|---|-----|
| 「摩擦力」の存在と、その大きさを体感させ、「摩擦力」のはたらきを理解させる。 | ⑥さまざまな平面上で物体を引いて動かすのに必要な力の大きさを調べ、その力を小さくする方法を考える。 ⑦物体を面の上で動かす場合には必ず「摩擦力」がはたらくことを知る。 ・摩擦力は物体と面とが接触して発生する。 ・摩擦力の大きさは物体の重さや接触面の様子が大きく変化する。 ・摩擦力は物体の運動方向と反対向きにはたらく。 | ・物体は5～8kg重、ばねばかりは8kg重秤量のものを使う。 ・面の様子を変えるためには砂をまいたり、アクリル板を敷いたり、ビニールや紙などを敷いてみる。 ・摩擦係数や、摩擦力が重さに比例することなどは知らせない。 | 1 |
| 「抗力」の存在と力の発生のしくみを理解させる。 | ⑧机の上に物体を置いた場合にはたらく力を調べる。 ア. 手のひらに物体をのせた場合と対比する。 イ. スポンジの上に物体をのせて観察する。 ・変形 ・はたらく力 ウ. スポンジを手で押したり放したりして調べる。 ・変形のもどり ・手が受ける力 エ. スポンジの代わりに本を重ねた上に手を当てて押したり放したりして調べる。 ・変形と対応する力 ・手が受ける力 オ. 「スポンジは力を加えられると変形し、変形がもとにもどろうとするのはたらきで力を出している。」ことを知る。 カ. 本の場合も少し変形したことから、机など固い物の上へのせた場合を類推させ、力の発生のしくみを知らせる。 ⑨力は矢印で表示できることを知らせる。 ・力がはたらく場合は、「力をおよぼすもの」と「およぼされるもの」とがある。 ・矢印を書く時は、力をおよぼされるものに作用点を記入する。 | ・スポンジにのせる物体は重くて、底面積の小さい物がよい。 ・実態調査の結果では机の出す上向きの力を考えている者は大変少ない。 ・手でささえる場合と対比させると机の出す力を考える者が出てくる。 ・「スポンジの変形がもとにもどろうとする時に力を出している」ことは、スポンジから押し返される力を体感させてとらえさせる。 ・生徒は、スポンジなどの弾性体と固い机は別のものだという観念が強いので、アクリル板やベニヤ板に力を加えて変形させ力を体感させるのもよい。 ・力の矢印はここで知らせる以前に使っていてもよいが、作用点に留意して書く。 ・作用点の意味を誤解している者が多いので十分留意する。 | 1 |
| 力の相互作用性を理解させる。 | ⑩ボールやスポンジの変形を観察して「相互作用で働いている力」をとらえる。 ・図⑦～⑨のような演示をし、ボールを変形させている力を考えさせる。 ・「机や壁がボールを押す力を出していること。」を知 | ・ボールは塩ビ製のがん具用で、なるべく大きいものを使った方がよい。 ・ボールの両側が変形するので相互作用性に気付きやすい。 ・ボールのかわりにスポンジを使ってもよい。 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| | <p>る。</p> <p>⑪力を図示して、「力の相互作用性」を理解する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・机の上に物体を置いた場合にはたらく力を図示してみる。 ・F_2とF_3が相互作用になっている。  | <ul style="list-style-type: none"> ・「作用・反作用の法則」という形では表現しない。 ・F_1とF_2を区別しないで図示する者が多いので注意する。 ・「作用点は力を及ぼされた物体の中を書く」ことを強調する。 ・力を図示する事象は他の事象でもない。 |
| <p>力の発生・伝達および相互作用性を目でとらえさせて理解を深める。</p>  | <p>⑫光弾性を利用して力のはたらき方や伝わり方を観察する。</p> <p>ア. 光弾性の現象を見せ、実験のねらいを知らせる。</p> <p>イ. プリントを配布し、観察の手順やしまようの記録方法を説明する。</p> <p>ウ. 2人1組になって実験し、プリントの図に観察したしまようを記録する。</p>  <p>エ. 記録したしまように対応する力を考えて、矢印で記入する。</p> <p>オ. 図示した矢印を検討し、力のはたらきや伝わり方をノートにまとめる。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・光弾性の原理は知らせない。 ・実験用具等については「5 実験・観察」を参照。 ・しまようの細部にこだわらないで簡略に記録させる。 ・しまようを記録させないと印象に残らず、対応する力を考察していくことができない。 ・図の□を例にとって矢印の記入方法を説明しておく。 ・しまようは書いても、矢印は容易には書けないものと思われる。 ・必要に応じてエポキシ樹脂材などの固い物の光弾性を演示して見せる。 |

第3次 力を体験させながら、力のつりあい条件及び、合成・分解で成り立つ関係を見せ、事象を力学的に考察できるようにする。（6時間）

<学習活動>

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| <p>⑬ 自作台車に物体をのせ、さまざまな方向に2力をはたかせて、つりあう時の条件を発見する。（2力のつりあい）</p> | <p>⑭ ⑬と同様の実験をしながら合力のはたらきを体験し、定量化して「力の平行四辺形」を発見する。（力の合成）</p> | <p>⑮ 自作台車に物体をのせ、3力をはたかせて、つりあう時の条件を発見する。（3力のつりあい）</p> | <p>⑯ 自作台車に1つの力をはたかせて、それを他の2つの力でささえる体験をしながら定量化する。（力の分解）</p> | <p>⑰ 学んだ「力の概念」を使って身近な力学事象を考察する。（1時間）</p> |
| (1時間) | (2時間) | (1時間) | (1時間) | (1時間) |

5 実験・観察

(1) 簡易光弾性装置を使った「力」の観察

<ねらい>

簡易光弾性装置を使って、力の発生・伝達及び、力の相互作用性を目でとらえさせる。

<準備するもの>

・簡易光弾性観察装置*（図2）

作り方 — 偏光板と透明アクリル板を用意する。使用する偏光板の大きさに合わせて透明アクリル板を切り、コの字形に曲げる。曲げたアクリル板の向かい合う面に偏光板を、偏光方向が直交するようにはりつける。（セロテープなどを使ってとめる。）

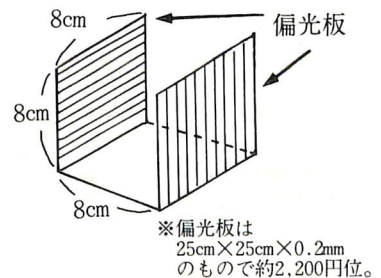


図2 簡易光弾性観察装置

*この装置は宮川精治先生（県立教育センター）考案のものを参考にした。

・自作光弾性観察用材

作り方 — ゼラチン粉末に水を加え20～30分放置したら湯せんでおだやかに加熱する。（ゼラチン：水＝1：5）ゼラチンがとけたら全容の約50％容量のグリセリンを加え混合する。よく混ぜり合ったら上部の泡をすくい取り、弁当箱などの容器に流し込む。一昼夜放置して固まったら容器からとり出して適当な大きさに切って使う。

<方 法>

「力」の指導計画（第2次） 参照

<備 考>

1. 光弾性観察用材は、寒天粉末を湯に5％の割合でといた後固まらせたものを使っても良い。この場合、ゼラチンを使ったものに比べて光の透過が悪く、もろいという欠点がある。
2. ゼラチンを使った観察用材はビニール袋に入れるなどして乾燥を防げば数か月間保存できる。
3. 市販されている観察用材やエポキシ樹脂などはO・H・P上で操作して演示するのに向いているが、高価で、切断しにくく、大きな力を加えないとしまようが見えないため、個別観察用には向かない。

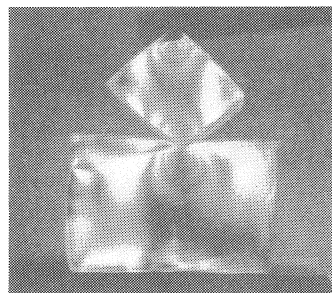


図3 光弾性

（2）自作台車を使った「力のつりあい」、「力の合成・分解」に関する実験

<ねらい>

実際に大きさを持った物体にはたらく力を体験させながら、力のつりあい及び、力の合成・分解で成り立つ定性的・定量的関係を見させる。

<準備するもの>

- ・自作台車（図4）

作り方 — ラワン板にボールキャスター3個とりつけ、ひもをかけるためのフックを数か所とりつける。

- ・8kg重秤量ばねばかり
- ・物体（レンガや砂袋など）
- ・ひも

<方 法>

「力」の指導計画（第3次） 参照

<備 考>

1. 自作台車が「力のつりあい」や「力の合成・分解」の実験に適している理由。
 - ⑦ どの方向へも動き、方向による摩擦係数の差がほとんどない。
 - ⑧ 動摩擦係数が小さ過ぎず、適度に大きく（表2）、台車の動きが滑らかであるため、摩擦力についても体感できる。
 - ⑨ 8kg重秤量ばねばかりと併用することによって、力を体験させながら定量的関係を見させることができる。
2. 8kg重秤量ばねばかりを使う理由。

力学実験用には、普通200g重秤量のばねばかりを使う場合が多い。このばねばかりでは、秤量が小さいために力を体感できず、摩擦力の影響が指度に大きくあらわれてしまう。場合によっては、「力学実験用」でない、「一般用」の200g重ばねばかりが力学実験に使われたりすることがある。「一般用」のものを机上で水平にして使用した場合は、ばねばかり本体の摩擦力が大きく、その影響が指度にあらわれて定量的関係を見できなくなってしまう。（図5）

説 明

- ・ 3本のばねばかりを用意し、それぞれのフックに糸をかけ、3本の糸を1か所で結び、実験机上で水平にして3力をつりあわせる。
- ・ F_1, F_2, F_3 を作図し、 F_1, F_2 の合力(F)を作図で求める。
- ・ F と $-F_3$ を比べる。

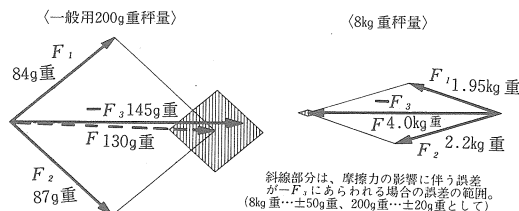


図5 3力のつりあい実験における摩擦力の影響

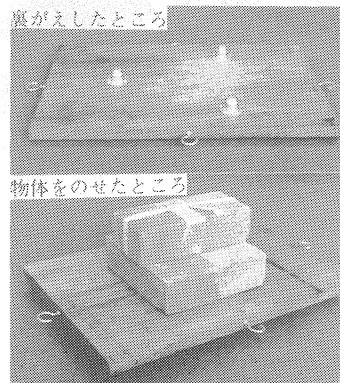


図4 自作台車

表2 自作台車の摩擦係数

自作台車に5～20kg重の物体をのせた場合の動摩擦係数

| 動かした場所 | 動摩擦係数 |
|-----------------|-------|
| 教育センター物理実験室実験机上 | 0.17 |
| ” ストーンテーブル上 | 0.11 |
| 教育センター3階廊下 | 0.21 |
| 実験机の上にアクリル板をしいて | 0.13 |
| ” 新聞紙2枚をしいて | 0.16 |

斜線部分は、摩擦の影響に伴う誤差が $-F_3$ にあられる場合の誤差の範囲。(8kg重…±50g重、200g重…±20g重として)

6 授業実践とその結果

新潟市内の中学1年生一学級の生徒に対して、作成した指導計画の第2次の内容を実践した。実践は、当該校の指導計画の第1次「力のはたらき」(7.5時間)の学習が終わった後、筆者が2時間の追加授業を行なった。授業は、作成した指導計画の第2次の学習活動⑥⑦⑨を省略し、⑧⑩⑪をまとめて1時間、そして⑫を計画通り1時間で行なった。これは指導における問題点②(摩擦力を除く)及び、③に対応する改善策をとりあげたことになる。

計画通りの1時間の授業では、生徒は生き生きと活動し光弾性の実験に熱中した。(図6)このほか、授業の効果は、(1)授業中の生徒のノート、及び、(2)筆者が授業をした学級の生徒(41名)と追加授業をしない学級の生徒(42名)に対し行なった事後調査により調べた。

(1) 授業中の生徒のノートより

生徒は、「2時間の学習からわかったこと」として、次のような内容に関することがらをあげていた。
ゼラチンにできたしまもようで「力」が見えてよくわかった。(56%) 「力」が伝わるということがわかった。(32%) 力の相互作用性がわかった。(22%) 固いものでも変形することや固いものでも力を出していることがわかった。(32%) 弾性の力のしくみがわかった。(22%)
また、「2時間の学習の感想」としては次のようなものがあった。

ゼラチンのしまもようが大変きれいだった。いろいろな方法で力を見ることができてよかった。ゼラチンを使うと力のはたらく場所がよくわかった。机も力を出していることを知ってびっくりした。2日間おもしろく勉強できた。なぜあのようなしまもようが見えるのか不思議だ。いろいろなことがわかってよかった。実験はおもしろかったが(内容は)むづかしかった。めずらしい実験だと思った。



図6 光弾性を観察する生徒

(2) 事後調査のまとめより (紙幅の関係で、結果の一部をのせる。)

調査①の結果(図7)より、筆者が授業をした学級では「机が物体におよぼす力」を認識している者が多い。授業で「抗力」をとりあげなかった学級では、物体にはたらく重力さえも見逃している生徒がかなりいる。教科書では「抗力」についてとりあげてあるものと、ないものがあり、とりあげてある場合でも、発生のしくみなどは知らせないまま、「重力とつりあう力」として簡単にとりあげてあるものが多い。そのために、「抗力」を学習済の生徒でも、これを「実在する力」として認識している者は少なかった。(実態調査②の結果参照)今回このような方法で「抗力」を学習させたことは、「抗力」をはっきりと認識させるのに効果があったものと考えられる。

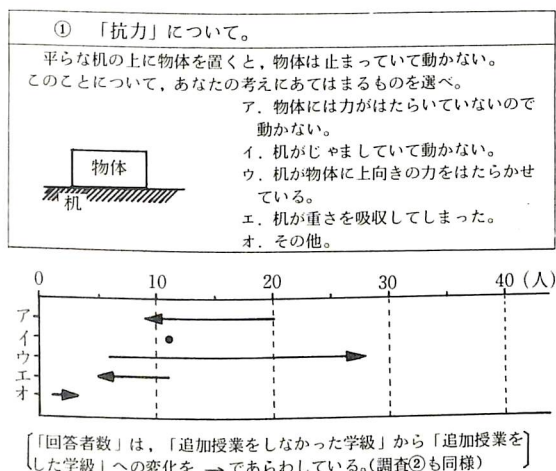


図7 調査①の結果

調査②の結果（図8）には、両学級で大きな差が見られる。筆者が追加授業をしない学級では、「上向きの力」（ウ、エ）や「糸が天井を引く力」（カ）を見逃している者が多い。「力の相互作用性」については、「空間をへだててはたらく力」を例にとりあげて指導する程度で、あまり重視されていない。しかし、「力の相互作用性」は現実にはたらいっている力を考察していく場合には無視することのできない「力の性質」である。授業では「押し合う力の相互作用性」についてとりあげたが、「引き合う力」の場合にも「相互作用性」を指摘できる生徒が増えた。

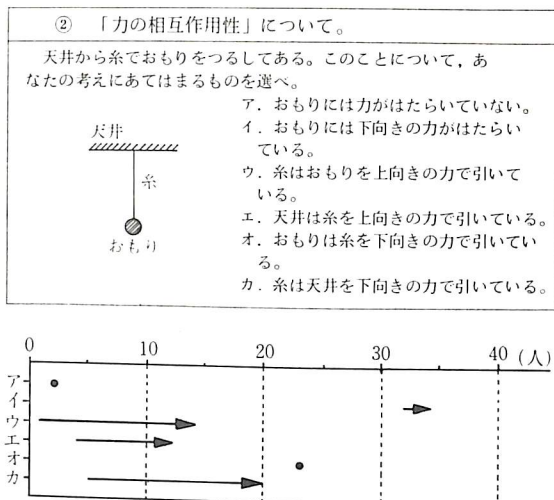


図8 調査②の結果

実践の結果から、授業でとりあげた改善策についてまとめると、次のようになる。

- ・ スポンジを使って「抗力」を認識させようとした実験は、「弾性力」の発生のしくみを理解させるのに効果があった。ただし、「机などの固いものでもスポンジと同じしくみで抗力を出している。」ことを理解させるには教師が説明を加えなければならなかった。
- ・ ボールを使った実験は、固い机や壁などが出す「反作用の力」をとらえさせるのに効果があった。
- ・ 簡易光弾性装置を使って「しまよう」を観察させながら、「はたらいている力」を考えさせる活動は、「力の相互作用性」や「力の伝わり方」を理解させるのに効果があった。

7 まとめ

従来行なわれてきた「力」の指導が、生徒の持っている「力の概念」と結びついていない実態を改善するために、生徒の日常経験を反映した「力の概念」を中心に据えて「力」の指導の検討を行なった。そして、具体的な改善策を考え、それに基づいた指導計画を作成することができた。この指導計画の有効性を検証するために、その一部について実践したところ、生き生きと活動に取り組む生徒の姿が見られ、めざす「抗力」や「力の相互作用性」について理解させることができた。

改善策の中における「力概念の分化」のように、長期間かけないと達成されないものについては今後実践を重ねて検討していきたい。

最後に、本研究を進めるにあたって、授業実践および実態調査に協力いただきました新潟市立大形中学校長藤田秀夫先生はじめ、各学校の先生方にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 長州南海男・武田一美：中学校理科のつまづきとその指導（第1分野），東京書籍，98～118（1982）。そのほかの参考文献
- ・ 清水保ほか：実験と観察No.20，岐阜県教育センター（1980）。
- ・ 北村太郎：中学生の力の概念の理解に関する調査，日本理科教育学会研究紀要，22, No.1, 59～65（1981）。
- ・ 小林昭三：力学形成の論理と力学教育の論理（I～IV），新潟大学教育学部紀要，（1979～1982）。